蒜头果不同部位的营养成分分析

杨一山[1, 2]，唐健民[1]，孙菲菲[1, 2]，秦惠珍[1]，蒋运生[1]，韦霄[1]，邹蓉[1]*

（1. 广西植物研究所，广西植物功能物质研究与利用重点实验室，广西 桂林 541006；2. 桂林医学院 药学院，广西 桂林 541004）

摘要：为明确蒜头果各部位营养价值特点及开发利用方向，该文以其种仁、果皮、叶、枝皮和树皮为材料，采用常规食物营养成分的分析方法，测定其不同部位的基本营养物质、氨基酸和矿物质的种类及含量，并对各部位的氨基酸进行营养价值评价。结果表明：（1）在基本营养成分方面，果皮的灰分含量高于其他部位，为 5.7 g/100 g。种仁中粗脂肪和蛋白质含量高于其他部位，分别为 36.0、14.0 g/100 g；叶中维生素 C 的含量高于其他部位，为 33.9 mg/100 g；枝皮中粗纤维含量高于其他部位，为 40.5 g/100 g；树皮中碳水化合物含量高于其他部位，为 78.6 g/100 g；只在种仁和叶中检测出挥发油，分别为 0.26、0.15 mL/100 g。（2）在蒜头果整体中共检测出 16 种氨基酸，其中包括 7 种必需氨基酸。种仁中氨基酸总量与必需氨基酸总量远高于其他部位，分别为 12.71、4.8 g/100 g。在氨基酸营养价值方面，种仁和果皮的营养价值最高，其次为叶、枝皮和树皮，必需氨基酸比值系数分（SRC）分别为 62.98、59.40、57.31、52.25、48.17。（3）在常量元素方面，种仁、果皮和叶中含量最高的常量元素均为 K，枝皮和树皮中含量最高的常量元素均为 Ca，Na 在蒜头果 5 个部位中的含量均最低。在微量元素方面，蒜头果 5 个部位的 Mn、Fe 含量均高于其他微量元素，其中种仁中的 Mn 含量最高，枝皮中 Fe 含量最高。综合结果表明，蒜头果种仁营养价值最高，其他部分也具有独特的开发利用潜力，可根据其不同部位的不同价值特点进行有效精准的开发和利用。

关键词：蒜头果，不同部位，营养成分，氨基酸，矿质元素

中图分类号：Q946.91；Q946.1　　　**文献标识码**：**A**

Analysis of nutritional components in different parts of *Malania oleifera*

YANG Yishan[1,2], TANG Jianmin[1], SUN Feifei[1,2], Qin Huizhen[1], Jiang Yunsheng[1], Wei Xiao[1], Zou Rong[1*]

(1.*Guangxi Key Laboratory of Functional Phytochemicals Research and Utilization, Guangxi Institute of Botany*, Guilin, Guangxi, 541006; 2. *College of Pharmacy, Guilin Medical University*, Guilin, Guangxi, 541004)

Abstract: In order to clarify the nutritional value characteristics and development direction of different parts of *Malania oleifera*, essential nutrients, amino acids and minerals in the kernel, peel, leaf, branch bark and bark of *M. oleifera* were determined by using the analysis method of

基金项目：河池市科技重点研发计划项目（河科 AB210306）；2022 年中央州政林业改革发展资金珍稀濒危野生动植物保护项目 [Support by the Hechi Key Technology Research and Development Project (HekeAB210306), Central State Forestry reform and development funds-rare and endangered wild animal and plant protection project(2022)]。

第一作者：杨一山 (1998-)，硕士研究生，研究方向为药用植物化学成分分析，(E-mail)1214104853@qq.com。

***通信作者**：邹蓉，副研究员，主要从事保护生物学研究，（E-mail）175183030@qq.com。

conventional food nutrients and the nutritional value of each portion of the amino acids was evaluated. The results were as follow: (1) In terms of essential nutrients, except for carbohydrates, there were extremely significant differences in the contents of the remaining seven basic nutrients among five parts (P<0.01). The ash content of peel was highest than other parts, which was 5.7 g/100 g. The contents of crude fat and protein in kernel were highest than other parts, which were 36.0 and 14.0 g/100 g respectively. The content of Vitamin C in leaf was highest than other parts, which was 33.9 mg/100 g. The content of crude fiber in branch bark was highest than other parts, which was 40.5 g/100 g. The content of carbohydrate in bark was highest than other parts, which was 78.6 g/100 g. Volatile oil was detected only in kernel and leaf, with the content of 0.26 and 0.15 mL/100 g respectively. (2) A total of 16 amino acids were detected in the five parts of *M. oleifera*, including 7 essential amino acids. The total amount of amino acids and essential amino acids of kernel were much higher than those of other parts. In terms of amino acid nutritional value, the nutritional value of kernel and peel were higher than other parts, followed by leaf, bark and bark. And the essential amino acid ratio coefficient score (SRC) was 62.98, 59.40, 57.31, 52.25, 48.17, respectively. (3) The highest content of major elements in kernel, peel and leaf was K, the highest content of major elements in branch bark and bark was Ca, and the content of Na in five parts of *M. oleifera* was lowest. Among the macro-minerals, the contents of P and Mg in kernel were significantly higher than those in other parts (P<0.05). The contents of K and Na in peel were significantly higher than those in other parts (P<0.05). And the results also showed high levels of K/Na ratios at all parts. In terms of trace elements, the content of Mn and Fe in five parts of *M. oleifera* were higher than others. The content of Mn in kernel was the highest, and the content of Fe in branch bark was the highest. The total contents of Mn and Fe in kernel and leaf were higher than other parts. Comprehensive results show that the kernel has the highest nutritional value and each part has its own characteristics and advantages. Different parts can be effectively and accurately developed and utilized according to different value characteristics.
Key words: *Malania oleifera* , different parts, nutritional components, amino acids, mineral elements

蒜头果（*Malania oleifera*）系铁青树科（Olacaceae）蒜头果属（*Malania*）的常绿乔木，又称马兰后（广西壮语）、山桐果（广南语）、猴子果、咪民等，属国家特有的二级保护单种属稀有植物，仅生长于广西西部的低山地地区和云南的广南县与富宁县等地（黄开响等，2008）。蒜头果作为重要的山地木本油料作物，可谓通身是宝，从枝叶到果实，都蕴藏着十分丰富的研究与应用价值。其种仁作为应用与研究最为核心的部位，富含健康油脂且含量高达 65%，其中神经酸（二十四碳烯酸）相对含量最高，占总油脂的 50.71%，其次为油酸和亚麻酸（张茜等，2016）。神经酸是一种长链的多不饱和脂肪酸，不仅在神经细胞发育和修复、改善记忆力（袁华等，2013）等方面发挥着巨大的作用，还是云南白药、麝香保心丸等药物的主要成分（周琴芬，2017）。种仁中的蒜头果蛋白也具有较高的药用价值，不仅对 Hela 和 Vero 细胞具有强烈的细胞毒性（杨敏，2020），还对人白血病 K562 体外生长具有抑制作用（袁燕等，2014）。除种仁外，蒜头果果壳和果皮中也含有少量的粗脂肪，分别为 6.47%、6.60%（杨玉玲等，2022）。其果壳和枝木中丰富木质素，也为蒜头果的综合利用开辟了新的途径（唐婷范等，2013）。有研究发现（唐婷范等，2013）蒜头果新鲜枝叶和果皮果肉中均含有挥发油，枝叶和果皮果肉挥发油主要成分均为苯甲醇、苯甲醛和扁桃腈；种仁中的挥发油主要成分为苯甲醇和苯甲醛。黄开响等（2008）以蒜头果叶为材料，对其中的

挥发油的含量及组成进行分析研究，结果表明叶中共鉴定出5种挥发油，占总含量的98.75%，其中扁桃腈相对含量最高，其次为苯甲醛。由此可看出，蒜头果各部位挥发油的组成和相对含量有所不同，其整体含有丰富的天然香料成分，可应用于化妆品、食品等行业。除医疗保健价值以外，蒜头果因其树干通直，木材纹理好、密度大、耐腐蚀，是制造家具船舶的上好材料，商品价值较高，市售价在 4 000 元/m^3 左右（陈福等，2021）。

近年来，随着蒜头果资源的经济价值不断地显现以及人工造林技术的日益进步，蒜头果的生产和加工必将成为产业化。在果实和木材被采收后，枝叶、果皮和树皮等却未得到充分利用，不仅造成了资源的浪费，还造成了环境的污染。加之，蒜头果种植收获周期长，一般种植 10 年后才可盛产，所以更需要对其整体进行开发研究，增加经济效益，刺激种植与生产。但目前的研究多集中于种仁中油脂、多糖（Yuan et al. ，2009）、蛋白、木脂素及神经酸的提取纯化等方面，对其种仁及整体的营养学的研究还处于起步阶段。张磊等（2012）首次采用湿法硝酸一高氯酸消解方法对蒜头果种仁中 Al、Ca、Fe、K、Mg、Mn、Zn 7 种金属元素的含量进行测定，为蒜头果种仁中金属元素的研究提供了科学的理论依据。在此之后，苏霁玲等（2021）对蒜头果种仁中的蛋白质、粗脂肪及脂肪酸的组成和矿质元素的含量进行测定，并对种仁中的氨基酸进行营养价值评价，研究结果表明种仁中的氨基酸的营养价值较高，营养元素丰富且未检测出重金属元素，在食品深加工方面极具潜力。除此两项研究外，在营养学方面还未见其他报道，许多问题还亟待解决，如蒜头果什么部位的营养价值最高？不同部位营养价值的特点是什么？营养价值形成的物质基础是什么？不同地区蒜头果其矿质元素、营养成分等是否存在差异？

因此，为综合开发蒜头果资源，明确其不同部位的营养价值特点及提高蒜头果种植的附加经济效益，本文在前人研究的基础上，采用常规食物营养成分的分析方法，对蒜头果整个植株，包括种仁、果皮、叶、枝皮和树皮在内的五个部位，进行基本营养成分、氨基酸、矿物质的种类及含量的测定，并对各部位进行营养价值评价，以明确各部位的营养价值差异和特点，探讨其价值形成的内在机制并挖掘各部位的开发利用价值，为今后蒜头果产品的开发和利用提供有效且精准的依据和理论支持，从而达到经济效益和生态效益共赢的目的。

1 材料与方法

1.1 材料和仪器

供试材料：蒜头果成熟的果实、叶、枝皮和树皮采自于广西壮族自治区河池市巴马县交乐天坑内的 5 株已成年、健康且生长年限相同的植株，经广西植物研究所韦霄研究员鉴定为蒜头果（*Malania oleifera*）。采集时间为 2021 年 10 月中旬，采集地属亚热带季风气候，干湿分明，6、7、8 月为雨季，降水丰沛，10 月上旬雨季基本结束。天坑内部气温较低，水分蒸发量小且底部有河流和地下暗河，气候湿润，土壤肥沃，大多为中性偏碱的石灰性土壤。

仪器：QE-100 型高速粉碎机（浙江屹立工贸有限公司）；L-8900 氨基酸分析仪，全自动凯氏定氮仪（济南海能），电子天平（梅特勒），高速冷冻离心机（日本日立），高效液相色谱系统（美国 Waters），双光束扫描紫外可见光分光光度计（美国热电），ZEEEnit 700 原子吸收光谱仪（德国耶拿），IRIS Intrepid 等离子体发射光谱仪（美国热电），X7 Series 等离子体质谱仪（美国热电），SA-10 原子荧光形态分析仪（北京吉天），TU-1810 紫外可见光分光光度计（北京谱析）等。

1.2 方法

1.2.1 原材料预处理

将蒜头果成熟果实的种仁和果皮手工分离后洗净，再与洗净的叶、枝皮和树皮共同置于烘箱中，60℃烘干至恒重。最后用粉碎机粉碎，过 60 目筛，制成样品粉末，备用。

1.2.2 蒜头果不同部位基本营养成分、氨基酸及矿质元素的测定

本研究采用我国食品营养成分国家标准分析方法对蒜头果不同部位的灰分、粗脂肪、蛋白质、氨基酸、矿质元素等进行检测，具体检测项目和方法如下：灰分（重量法，GB 5009.4—2016）、粗脂肪（索式抽提法，GB 5009.6—2016）（Zhang et al. , 2011）、粗蛋白（凯式定氮法，GB 5009.5—2016）（杨文华，2017）、粗纤维（重量法，GB/T 8310—2013）、碳水化合物（硫酸苯酚法，GB 28050—2011）（朱成文等，2005）、维生素 C（高效液相色谱法，GB 5009.86—2016）、挥发油（甲苯法，GB/T 30385—2013）、氨基酸（氨基酸自动分析仪，GB/T 5009.124—2016）。每种样品重复测定 3 次，取平均值。

1.2.3 蒜头果不同部位矿质元素的测定

精密称取 1.00 g 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮的粉末分别置于消解管中，再加入 5.0 mL 的 HNO_3 和 2.0 mL H_2O_2，然后在微波消解仪进行消解。待消解完毕，将消解管置于赶酸仪中赶酸，最后用 2%的 HNO_3 定容，待测。K、Ca、Mg、Na、Fe、Cu 采用电感耦合等离子体发射光谱仪进行测定。P、Mn、Zn、Se 等矿质元素采用等离子质谱仪进行测定。（王丽军等，2021）。每种样品重复测定 3 次，取平均值。

1.3 氨基酸营养价值评价方法

采用氨基酸比值系数法（侯敏等，2019）对蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮进行氨基酸营养价值评价。以世界卫生组织和联合国粮农组织（World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO/FAO）所提供的必需氨基酸模式为标准，计算出氨基酸比值（ratio of amino acids, RAA）、所有必须氨基酸比值的平均值（mean value of RAA, $\overline{RAA}$ ）、氨基酸比值系数（amino acid ratios coefficient, RC）、所有氨基酸比值系数平均值（mean value of RC, $\overline{RC}$ ）、RC 变异系数（coefficient of variation of RC, CV）、各氨基酸比值系数 RC 的标准差（standard deviation of RC, SD）、氨基酸比值系数分（score of ratio coefficient of amino acid, SRC）。计算方法如下：

$$\text{必须氨基酸比值（}RAA\text{）}=\frac{\text{样品中某必需氨基酸含量（g/100g）}}{WHO/FAO\text{模式中该必须氨基酸含量（g/100g）}};$$

$$\text{氨基酸比值系数（}RC\text{）}=\frac{\text{某必需氨基酸比值（}RAA\text{）}}{\text{样品中所有必须氨基酸比值的平均值（}\overline{RAA}\text{）}};$$

$$\text{氨基酸比值系数分（}SRC\text{）}=(1-CV)*100;$$

$$RC\text{变异系数（}CV\text{）}=\frac{\text{各氨基酸比值系数}RC\text{的标准差（}SD\text{）}}{\text{所有氨基酸比值系数平均值（}\overline{RC}\text{）}}。$$

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 进行数据统计，采用 SPSS 18.0 进行数据统计学分析。

2 结果与分析

2.1 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮中的基本营养成分的组成及含量

蒜头果各部分基本营养物质组成及含量见表 1。由表 1 可以看出，不同部位之间除碳水化合物之外，其余 7 种基本营养物质的含量均存在极显著差异（$P<0.01$）。在灰分含量方面，果皮中含量最高，为 5.7 g/100 g，种仁中含量最低，具体表现为果皮>树皮>枝皮>叶>种仁。在粗脂肪的含量方面，种仁中含量最高，为 36.0 g/100 g，枝皮中含量最低，具体表现为种仁>果皮>叶>树皮>枝皮。在蛋白质含量方面，种仁中含量最高，为 14.0 g/100 g，枝皮中含量最低，具体表现为种仁>叶>树皮>果皮>枝皮。在粗纤维含量方面，枝皮中含量最高，为 40.5 g/100 g，果皮中含量最低，具体表现为枝皮>种仁>树皮>叶>果皮。在碳水化合物含量方面，树皮中含量最高，为 78.6 g/100 g，种仁中含量最低，具体表现为树皮>枝皮>叶>果皮>种仁。

在维生素 C 含量方面，叶中含量最高，种仁的含量最低，具体表现为叶>树皮>枝皮>果皮>种仁。在挥发油含量方面，只在种仁和叶中检测出挥发油，且两者存在显著差异（P<0.05）。不同部位中的主要基本营养成分也是不同的，种仁中营养以粗脂肪和碳水化合物为主，果皮以碳水化合物为主，叶以碳水化合物和维生素 C 为主，枝皮和树皮以粗纤维和碳水化合物为主。通过上述分析结果可以看出，蒜头果各部位中的基本营养物质含量各有特点，且不同部位之间存在着不同程度的差异性，所以可以根据其特点，进行开发利用。

表 1 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮中基本营养物质的组成及含量

Table 1 Composition and content of main active substances in kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*.

基本营养物质 Essential nutrient	种仁 Kernel	果皮 Peel	叶 Leaf	枝皮 Branch bark	树皮 Bark	*P* 值 *P* value
灰分（g/100 g） Ash (g/100 g)	2.7±0.05a	5.7±0.17e	3.4±0.07b	3.7±0.05c	5.0±0.15d	0.000
粗脂肪（g/100 g） Crude fat (g/100 g)	36.0±0.65c	1.9±0.05b	2.0±0.06b	0.9±0.03a	1.5±0.02b	0.0001
蛋白质（g/100 g） Crude protein (g/100 g)	14.0±0.27e	5.20±0.03b	9.19±0.00d	3.28±0.00a	6.09±0.06c	0.000
粗纤维（g/100 g） Crude fiber (g/100 g)	31.7±1.51d	4.9±0.09a	16.5±0.56b	40.5±0.47e	27.0±0.13c	0.001
碳水化合物（g/100 g） Carbohydrate(g/100 g)	33.4±0.52a	33.7±2.52a	70.0±1.11b	72.9±0.44c	78.6±1.32d	0.8571
维生素 C（mg/100 g） Vitamin C (mg/100 g)	3.27±0.10a	8.03±0.10b	33.9±1.12e	12.8±1.16c	19.3±0.59d	0.000
挥发油 （ml/100 g） Naphtha (ml/100 g)	0.26±0.02d	0	0.15±0.01a	0	0	0.000

注：不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著性差异（P<0.05）。下同。

Note: Different lowercases represented significant difference (P<0.05). The same below.

2.2 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮中的氨基酸组成及含量

2.2.1 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮中的氨基酸总量分析

蒜头果 5 个部位中氨基酸组成及含量见表 2。在种仁、果皮、叶中共检测出 16 种氨基酸，其中 7 种必需氨基酸。在枝皮和树皮中共检测出 15 种氨基酸，其中 6 种必需氨基酸，未检测出蛋氨酸（Met）。各部分氨基酸总量依次为 12.71、3.35、7.32、2.21、4.46 g/100 g。种仁氨基酸总量和每一种氨基酸含量均显著高于其他部位（P<0.05）。枝皮中氨基酸含量和各种氨基酸含量均显著低于其他部位（P<0.05）。在蒜头果 5 个部位中的谷氨酸（Glu）和门冬氨酸（Asp）的含量均高于其他氨基酸。除蛋氨酸之外，不同部位的中同一种氨基酸均存在极显著差异（P<0.01），蛋氨酸含量则呈现出显著差异（P<0.05）。

蒜头果 5 个部位的必需氨基酸含量相差较大，其中种仁中必需氨基酸含量最高为 4.8 g/100 g，枝皮的含量最低，具体表现为种仁>叶>树皮>果皮>枝皮。种仁和叶中含量最高的必需氨基酸为亮氨酸（Leu）；果皮、枝皮和树皮中含量最高的必需氨基酸为赖氨酸（Lys）。叶中必需氨基酸总量/氨基酸总量（EAA/TAA）和必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量（EAA/NAA）最高，分别为 40.02%和 66.74%。

表 2 蒜头果叶、果、枝皮、树皮中氨基酸组成及含量

Table 2　Composition and Content of amino acids in kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*

氨基酸（g/100 g）Amino acid（g/100 g）	种仁 Kernel	果皮 Peel	叶 Leaf	枝皮 Branch bark	树皮 Bark	*P* 值 *P* value
门冬氨酸 Asp	1.46±0.12d	0.56±0.10b,c	0.72±0.10c	0.23±0.03a	0.50±0.08b	0.0006
苏氨酸 Thr *	0.62±0.03e	0.16±0.00b	0.36±0.02d	0.12±0.01a	0.22±0.03c	0.0009
丝氨酸 Ser	0.72±0.01e	0.18±0.01b	0.40±0.02d	0.15±0.01a	0.32±0.01c	0.000
谷氨酸 Glu	1.96±0.12d	0.48±0.03b	0.82±0.02c	0.24±0.01a	0.48±0.02b	0.000
脯氨酸 Pro	0.72±0.02c	0.21±0.01a	0.66±0.04c	0.20±0.05a	0.44±0.05b	0.000
甘氨酸 Gly	0.64±0.02d	0.17±0.00a	0.47±0.03c	0.14±0.01a	0.24±0.03b	0.0009
丙氨酸 Ala	0.58±0.02e	0.27±0.00b	0.52±0.02d	0.19±0.00a	0.31±0.01c	0.0006
胱氨酸 Cys	/	/	/	/	/	
缬氨酸 Val*	0.76±0.02d	0.20±0.05b	0.45±0.02c	0.13±0.02a	0.24±0.01b	0.0001
蛋氨酸 Met*	0.09±0.03b	0.02±0.01a	0.02±0.01a	0	0	0.0111
异亮氨酸 Ile*	0.59±0.02d	0.16±0.02b	0.35±0.01c	0.09±0.03a	0.16±0.01b	0.000
亮氨酸 Leu*	1.21±0.08d	0.27±0.02a,b	0.70±0.06c	0.18±0.01a	0.36±0.01b	0.000
酪氨酸 Tyr	0.47±0.01d	0.12±0.01b	0.22±0.02c	0.05±0.03a	0.14±0.01b	0.000
苯丙氨酸 Phe*	0.59±0.03d	0.19±0.01b	0.43±0.02c	0.11±0.01a	0.20±0.02b	0.0020
赖氨酸 Lys*	0.94±0.02e	0.29±0.01b	0.62±0.03d	0.20±0.01a	0.45±0.03c	0.000
氨 NH3	/	/	/	/	/	
组氨酸 His	0.34±0.03c	0.11±0.01a	0.18±0.01b	0.08±0.03a	0.20±0.05b	0.0056
精氨酸 Arg	1.02±0.08c	0.16±0.02a	0.40±0.05b	0.10±0.05a	0.20±0.06a	0.0001
氨基酸总量 TAA	12.71±1.05d	3.55±0.34b	7.32±0.29c	2.21±0.17a	4.46±0.36b	0.0001
必需氨基酸总量 EAA	4.8±0.16e	1.29±0.15b	2.93±0.28d	0.83±0.10a	1.63±0.10c	0.000
非必需氨基酸总量 NEAA	7.91±0.08e	2.26±0.21b	4.39±0.29c	1.38±0.34a	2.83±0.22c	0.000
必需氨基酸总量/氨基酸总量（%）EAA/TAA（%）	37.77	36.33	40.02	37.56	36.55	
必需氨基酸/非必需氨基酸总量（%）EAA/NEAA（%）	60.69	57.08	66.74	60.14	57.59	

注：*为必需氨基酸；

Note: * is essential amino acid.

2.2.2 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮和树皮中的必需氨基酸营养评价

根据 FAO/WHO 推荐模式，计算出蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮的必需氨基酸比值（RAA）、氨基酸比值系数（RC）、氨基酸比值系数分（SRC），计算结果见表 3、表 4。RC 值<1，表明该种氨基酸相对不足；RC 值>1，表明该种氨基酸相对过剩。由表 4 可知，蒜头果 5 个部位中蛋氨酸+胱氨酸（Met+Cys）的 RC 值均最小，因此 5 个部位的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸（Met+Cys）。

现代营养学研究认为，氨基酸不足和过剩都会限制食品的营养价值。必需氨基酸比值系

数分（SRC）常被用来对食物蛋白中的氨基酸进行综合评价。SRC 是将某种食物蛋白中氨基酸的组成比例与推荐模式相比较，若一致，SRC=100，表明蛋白质的营养价值越高；若与推荐模式相差越大，SRC 越小，表明蛋白质的营养价值越差。由表 5 可知，蒜头果各部分的必需氨基酸比值系数分依次为：树皮（48.17）<枝皮（52.25）<叶（57.31）<果皮（59.40）<种仁（62.98）。综合以上数据可以看出，种仁的营养价值最高，果皮的营养价值次之，树皮的营养价值最低。

表 3 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮的必需氨基酸比值

Table 3 Amino acid score of kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*

部位 Part	必需氨基酸种类及构成 Types and composition of essential amino acids							
	Ile	Leu	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val	Lys	$\overline{RAA}$
种仁 Kernel	0.59	1.21	0.09	1.06	0.62	0.76	0.94	0.14
果皮 Peel	0.16	0.27	0.02	0.31	0.16	0.20	0.29	0.03
叶 Leaf	0.35	0.70	0.02	0.65	0.36	0.45	0.62	0.08
枝皮 Branch bark	0.09	0.18	0	0.16	0.12	0.13	0.20	0.02
树皮 Bark	0.16	0.36	0	0.34	0.22	0.24	0.45	0.05
FAO/WHO 推荐模式 Recommendation mode of FAO/WHO	40	70	35	60	40	50	55	

表 4 蒜头果蒜头果叶、果、枝皮、树皮的必需氨基酸比值系数及比值系数分

Table 4 Essential amino acid ratio coefficient and ratio coefficient score of kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*.

部位 Part	RC							SRC
	Ile	Leu	Met+Cys	Phe+Tyr	Thr	Val	Lys	
种仁 Kernel	1.03	1.21	0.18*※	1.24	1.08	1.06	1.20	62.98
果皮 Peel	1.26	1.22	0.14*※	1.34	1.26	1.26	1.66	59.40
叶 Leaf	1.03	1.18	0.07*※	1.28	1.06	1.06	1.33	57.31
枝皮 Branch bark	0.94*	1.08	0.00*※	1.12	1.26	1.09	1.52	52.25
树皮 Bark	1.09	1.09	0.00*※	1.14	0.84*	0.97*	0.87*	48.17

注：*表示该种氨基酸相对不足；※为第一限制氨基酸。

Note: * indicates that the amino acid is relatively insufficient; ※ is first limiting amino acid.

2.3 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮中的矿质元素种类及含量

2.3.1 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮中的常量元素

蒜头果不同部位中常量元素的组成及含量见表 6。由表 6 可知，种仁、果皮和叶中含量最高的常量元素均为 K，分别为 1.08×10^3 、2.73×10^3、704 mg/100 g。枝皮和树皮中含量最高的常量元素均为 Ca，分别为 1.28×10^3、1.32×10^3 mg/100 g，Na 在蒜头果所有部位中的含量均最低。不同部位中 5 种常量元素均存在极显著差异（P<0.01）。与其他部位相比，种仁中 P、Mg 含量显著高于其他部分（P<0.05），果皮中 K、Na 含量著高于其他部分（P<0.05），树皮中 Ca 含量著高于其他部分（P<0.05）。

表 6 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮常量元素组成及含量

Table 6 Composition and content of macroelement in kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*

常量元素 Content of macroelement (mg·kg^{-1})	种仁 Kernel	果皮 Peel	叶 Leaf	枝皮 Branch bark	树皮 Bark	*P* 值 *P* value
P	237±2.19e	117±0.56c	132±2.59d	61.5±0.96a	70.9±1.31b	0.000
K	1.08×103±3.81d	2.73×103±1.82e	704±1.57b	278±1.73a	812±1.85c	0.000
Na	0.335±0.01b	0.814±0.03d	0.74±0.04c	0.159±0.00a	0.210±0.05a	0.000
Mg	221±3.13e	80.0±2.46b	140±1.59d	49.0±1.31a	102±0.96c	0.005
Ca	24.3±1.41b	19.1±0.85a	579±0.79c	1.28×103±1.31d	1.32×103±5.19e	0.009

2.3.2 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮中的微量元素

蒜头果不同部位中微量元素的组成及含量见表 7。由表 7 可知，种仁和树皮中微量元素含量由高到低均表现为：Mn>Fe>Zn>Cu>Se，Mn 含量均最高；果皮和叶表现为：Fe>Mn>Zn>Cu>Se，Fe 含量均最高；枝皮中微量元素表现为：Fe>Zn>Mn>Cu>Se，Fe 含量最高。5 个部位微量元素的含量均存在一定程度的差异性，其中 Mn、Fe、Zn、Cu 的含量呈极显著差异（P<0.01），Se 含量呈显著差异（P<0.05）。种仁中 Mn 含量高于其他部位，并与叶、树皮的差异性不显著（P>0.05），但三者显著高于果皮和枝皮（P<0.05）；在 5 个部位中还检测出少量的 Se，其中种仁中含量最高，并与叶的差异不显著（P>0.05），但两者显著高于其他部位。枝皮中的 Fe 和 Zn 含量显著高于其他部位（P<0.05）。树皮中的 Cu 含量显著高于其他部位（P<0.05）。

表 7 蒜头果种仁、果皮、叶、枝皮、树皮微量元素组成及含量

Table 7 Composition and content of trace element in kernel, peel, leaf, branch bark and barks of *Malania oleifera*

微量元素 Content of trace element (mg·kg^{-1})	种仁 Kernel	果皮 Peel	叶 Leaf	枝皮 Branch bark	树皮 Bark	*P* 值 *P* value
Mn	18.3±1.78b	4.35±0.13a	16.1±2.31b	5.85±0.15a	17.2±1.76b	0.005
Fe	14.8±0.66b	9.18±0.70a	17.8±1.76b	21.4±2.52c	15.6±1.08b	0.001
Zn	7.68±0.20c	4.32±0.16a	7.95±0.13c	14.9±0.85d	5.31±0.17b	0.000
Cu	2.66±0.16b	1.30±0.28a	2.55±0.23b	3.03±0.31b	3.87±0.26c	0.002
Se	0.082±0.02d	0.030±0.01a,b	0.072±0.01c,d	0.028±0.01a	0.052±0.00b,c	0.018

3 讨论与结论

蒜头果 5 个部位的基本营养成分的含量差异较大。种仁作为蒜头果最主要的应用与研究部位，其粗脂肪和粗蛋白的含量显著高于其他部位。油脂含量作为评价油料作物的重要指标，不仅可以鉴别其品质的高低，还是优良种质选择的重要依据。有研究表明，云南产蒜头果种仁中粗脂肪的含量在 60%以上（赵劲平和欧乞鍼，2010；苏霁玲等，2021），但从本试验所得结果来看，广西巴马县交乐天坑内的蒜头果种仁中粗脂肪的含量仅为 36%，显著低于云南所产。一般认为，土壤中的水分越充足，越有利于果油的积累，尤其在生殖期内（李小

芳等，2006）。广西交乐天坑中土壤大多为保水性差的石灰性土壤，但此地区降水充沛，天坑内部气温较低，水分蒸发量小且底部有河流和地下暗河，气候湿润，所以认为除了土壤水分之外，还有其他因素导致其地区的种仁含油量较低，如长期的岩溶环境的胁迫、土壤元素有效态等。赖家业等（1999）通过对石山、土山两种立地条件下的蒜头果叶片中叶绿素含量对比分析发现，土壤中矿质元素是导致两者叶绿素产生巨大差异的原因。所以在蒜头果引种栽培时，要注意产地的土壤、环境等因素，选育出适合本地生长的优良品种。

与传统蒜头果资源开发和利用不同，本研究首次对叶、枝条等部位的营养成分进行分析，结果表明除种仁外，其他部位也极具开发潜力，其叶中维生素 C 的含量显著高于其他部分，为 33.9 mg/100 g，且高于其他日常食用的蔬菜，例如，生菜（12.54 mg/100 g）、空心菜（11.92 mg/100 g）、南瓜苗（16.29 mg/100 g）、甘薯叶（11.83 mg/100 g）等（朱成豪等，2020）。维生素 C 又称抗坏血酸，在人体正常生长发育中发挥着重要的作用，近些年来还发现其具有良好的抗肿瘤功效。研究表明，维生素 C 不仅可以在对正常细胞无毒性作用的前提下，直接杀死肿瘤细胞（Chen et al. , 2005），还可以干扰肿瘤细胞周期，诱导其凋亡（Kang et al. , 1999）。所以可以将蒜头果叶作为维生素 C 的天然来源进行加工处理。不同植物或相同植物的不同部位，其维生素 C 的含量往往存在差异，甚至相差数十倍（Devey et al. , 2000），这说明维生素 C 含量的多少是由遗传决定并具有组织特性。在某些特定组织中，其维生素 C 含量又受到外部因素的影响，如光照。叶作为光合作用的主要场所，其中维生素 C 含量与光照密切相关。一方面，高光照可以改善碳水化合物库，利于维生素 C 的积累，另一方面，光对催化维生素 C 合成的关键酶半乳糖内酯脱氢酶（GalLDH）具有激活作用，较高光照条件下，GalLDH 的活性得到提高，使维生素 C 的合成增加（安华明等，2004）。这可能是蒜头果叶中维生素 C 含量高于其他部位的原因。

在蒜头果不同部位中含量最高的氨基酸均为谷氨酸（Glu）和门冬氨酸（Asp）。谷氨酸和门冬氨酸不仅同为鲜味氨基酸中的特征氨基酸，是合成味精-谷氨酸钠和门冬酸钠的原料，还同为药用氨基酸，具有较高的药用价值。本研究的这一结果为蒜头果相关食品或保健品等的开发提供了一定的理论基础。在人体中，谷氨酸和门冬氨酸同为兴奋性氨基酸（EAA），是中枢神经系统的主要兴奋性神经递质。在中枢神经系统中谷氨酸的含量最高、分布最广且作用最强，参与学习、记忆等活动（Lutgen et al. , 2016）。但谷氨酸含量过高时，会产生兴奋性毒性，持续刺激其受体，损伤神经元，从而引发一系列的神经系统疾病（Morizane, et al. , 1997）。门冬氨酸在促进人体肝细胞内核酸形成的同时，还可以促进肝细胞内能量的合成，利于修复损伤的肝细胞（成军，2015）。所以在对蒜头果种仁进行食品、药品开发利用的同时，应注意其含量的高低。根据联合国粮食及农业组织/世界卫生组织（FAO/WHO）提供的蛋白模式，优质蛋白中的必需氨基酸与氨基酸总量的比值应达到 40%，必需氨基酸与非必需氨基酸的比值应在 60%以上（冯耐红，2019）。参考这一标准可知，在蒜头果 5 个部位中只有叶的蛋白质是优质蛋白。苏霁玲等（2021）通过研究发现，蒜头果种仁必需氨基酸与氨基酸总量的比值为 37%，此研究与本试验所研究的结果基本一致。本文研究发现，种仁（SRC=62.98）营养价值最高，其次为果皮（SRC=59.40）和叶（SRC=57.31）。由此可见，蒜头果除种仁外，其果皮和叶也具有较高的营养价值。蒜头果各部位的第一限制氨基酸均为蛋氨酸+胱氨酸（Met+Cys），其原因一部分由于蛋氨酸主要存在于动物性蛋白中，植物性蛋白含量较少（王冉和周岩民，1999），另一部分原因是在水解时胱氨酸可能被破坏因而在各部位中均未检出，所以在开发利用时，应适当补充含硫氨基酸以提高其营养价值。

蒜头果 5 个部位的矿质元素的种类及含量也十分丰富。K 主要集中于植物最活跃的部位，本研究发现，果皮中的 K 含量高于其他部位，说明在蒜头果成熟期间果皮是生理活动最活跃的部位。虽然 K 不参与重要有机物的合成，但其可促进光合产物的转化和运输，使

其可迅速的转运到根部和种子中（张志华等，2001）。在山核桃的研究中发现（Pe'er & Kessler, 1984；段红喜，2005），其种仁中的油脂含量与青皮中的 K 含量存在正相关的关系。所以在蒜头果果实成熟期间，叶和种仁中的 K 可能在向果皮中转运过程中，粗脂肪等营养物质也转运到了种仁中。此外，K 还可以促进硝态氮的吸收和转运，加速蛋白质的合成（段红喜，2005）。所以在果实成熟期间，果皮中的 K 还可能促进了 N 的代谢，不但使果皮中的蛋白质含量增多，还促使更多的蛋白质转运到种仁中。除对植物本身营养物质积累方面具有重要意义外，K 还在调节人体细胞内液的渗透压以及 pH 值方面发挥着重要的作用，大量研究表明，合理提高血液中 K 的含量不仅可以增加血管的弹性，扩张血管，还可以有效的阻止血脂的沉积，从而降低罹患高血压疾病的风险（Tobian et al. , 1985; Kieneker et al. , 2014）。值得注意的是，蒜头果各部分的 K/Na 比值都比较大，呈现出"高钾低钠"的特点，其中种仁和果皮最为显著，K/Na 分别约为 3223：1 和 3353：1。有研究表明（Chang et al. , 2006），在老年人群中"高钾低钠"的饮食可以使因心血管疾病死亡的风险降低 41%。所以整个蒜头果的果实可以作为开发"高钾低钠"产品的最佳选择。

蒜头果枝皮和树皮中 Ca 含量十分丰富。越来越多的研究发现，Ca 不仅是生物生长发育必须的营养元素，更重要的是作为细胞内外的信号传递分子，参与人体中经递质的传递、肌肉的收缩等生理功能（Cashman et al., 2002），植物的光合作用、营养元素的吸收和转运、有关酶的调控等也需要 Ca 的参与（Barr et al., 1982; White & Broadley, 2003）。Ca 在植物体内是一种难移动且分布不均匀的营养元素。一般认为，Ca 在植物体内的运输动力主要来自于蒸腾拉力（井大炜等，2012）。茎（树皮）、叶中（老叶高于嫩叶）Ca 含量一般较高，果实、种子等器官含量较低，当 Ca 运输到相应器官后，其含量多数趋于稳定，几乎不再发生转运（周卫和林葆，2000）。所以蒸腾作用越旺盛、生长时间越长的组织和器官其 Ca 积累量越高，这可能是蒜头果枝皮和树皮中 Ca 含量高于其他部位的原因之一。余慧嵘（2013）研究发现，蒜头果在碳酸钙含量高的立地条件下，长势更旺，具有喜钙性。本研究中蒜头果样品采集地-巴马交乐天坑，属典型的喀斯特岩溶地貌，其土壤中 Ca 含量较高。蒜头果对土壤中 Ca 的吸收和利用，不仅可以满足自身正常生长发育，还对土壤中的 Ca 起到一定的富集作用，便于富钙类产品的开发，如可将采收剩余的树皮和枝皮加工成钙肥或动物饲料。

在植物整个生长过程中，其不同组织的元素库是不断变化的，这取决于植物的生长速度和发育阶段。P 作为植物体内易于移动的矿质元素，在营养生长阶段早期，主要分布于叶中。到营养生长阶段末期和生殖生长期，储存在衰老叶片中 P 会被重新活化并转移到生长旺盛的器官中，如果实、新叶（孙艳等，2021）。有研究表明，油料作物胡麻在盛花至完熟阶段 P 的积累量最大，且籽粒中 35.14%～55.24%的 P 是由叶片中重新活化并转运而来的（吴兵等，2016）。类似地，小麦叶片和秸秆中 P 含量会随着开花期到成熟期的过渡而降低，而穗中 P 含量会增加至初始值的 4 倍（Masoni et al. , 2006）。本研究发现，在蒜头果成熟的种仁中 P 含量显著高于其他部位，且此时其叶中的 P 含量也仅次于种仁。所以，在蒜头果果实成熟期，其种仁中高含量的 P 是否由叶片转运而来？各组织 P 的动态变化有无关联性？值得进一步研究。

植物体内脂肪的代谢与 P 关系密切。植物体内的脂肪是由糖类转化而来，P 不仅参与糖的合成，而且还在糖类转化为甘油和脂肪酸的过程中还发挥着重要作用（段红喜，2005）。以此可说明，种仁对 P 的富集有利于蒜头果油脂的积累，所以可在油脂积累前期适当增施用 P 肥，利于种仁中脂肪含量的增加。在藻类研究中发现，P 会显著影响细胞内多不饱和脂肪酸（PUFA）的含量（梁晶晶等，2016）。另有研究表明，高磷处理下会显著提高橄榄油中的油酸的含量，且显著降低亚油酸等多不饱和脂肪酸的含量（曲继鹏，2021）。本研究还发现，除 P 外，种仁中 Mg 含量也高于其他部位。Jernejc 和 Legisa（2002）研究表明在黑曲霉中添加 Mg，可提高 PUFA 的含量。但范思琪等（2018）发现，山杏种仁中的 P 含量与含

油量不存在显著相关性，Mg 含量与 PUFA 的含量则呈负相关。不同植物脂肪酸的合成途径的差异，可能是造成上述差异的原因。所以掌握蒜头果油脂积累期与相关矿质元素的种类及含量的关系，对蒜头果的引种栽培具有重要意义。

在微量元素方面，蒜头果 5 个部位中的 Mn、Fe 含量均高于其他微量元素。对大多数作物而言，当其体内 Mn 含量低于 20 mg·kg^{-1} 时，则视为缺 Mn（安振锋和方正，2002）。本研究发现在蒜头果 5 个部位中，种仁中的 Mn 含量最高，为 18.3 mg • kg^{-1}，说明交乐天坑内的蒜头果可能处于缺 Mn 状态。Mn 虽然是土壤中十分活跃的微量元素，但因其氧化还原和淋溶特征，在石灰性土壤中，Mn 匮乏已成为仅次于 Fe 匮乏的营养失调问题（安振锋和方正，2002）。Mn 对植物的生理调节作用具有重要作用，是许多酶的辅助因子，如蛋白质、脂肪酸合成途径中的一些酶。Mn 是许多肽酶的活化离子，可通过促进肽键的合成来促进蛋白质的合成（刘武定，1995）。有研究表明，Mn 离子可影响藻类 Euglena gracilis 细胞内油脂含量和不饱和脂肪酸组成（Constantopoulos, 1970）。苏霁玲等（2021）研究发现，云南产蒜头果种仁中 Mn 含量为 24.26 mg • kg^{-1}，种仁中粗脂肪含量为 61.05%，粗蛋白含量为 21.02%，高于本研究中蒜头果种仁中的粗脂肪含量（36%）和蛋白质含量（14%）。所以缺 Mn 胁迫或 Mn 含量高低，对种仁中油脂和蛋白质的积累是否存在影响需进一步讨论。

Mn 在植物体内运输的难易程度会根据部位的不同而存在差异，如向种子移动相对较易，向根部移动相对较难（刘铮，1991）。在植物受到缺 Mn 胁迫时，根和茎中储藏的 Mn 会通过韧皮部转运到种子中（安振锋和方正，2002）。所以本文认为相比于其他部位，种仁中较高含量的 Mn，一部分原因可能是缺 Mn 胁迫。Mn 还在人体的中枢神经系统的神经激素传导方面发挥着重要的作用，Mn 的缺乏可能会导致神经介质多巴胺的水平降低（马亚兵等，2009）以及引发癫痫、侏儒症等疾病，此外，Mn 还因其具有刺激造血的能力，可以用来治疗贫血（杨心乐等，2006）。一个成年人体中 Mn 含量约为 10-20 mg，且每天需摄入 2.5-5 mg（向昌国等，2010），蒜头果种仁、叶和树皮中的 Mn 含量为 16.1-18.3 mg • kg^{-1}，所以其种仁、叶和树皮可以作为人体 Mn 的补充来源。

Fe 是植物生长发育必须的微量元素，在植物的许多生命活动过程中均起着重要作用。大多数植物，其体内 Fe 含量大约在 100-300 mg • kg^{-1}，但不同植物，不同部位，其 Fe 含量会存在一定差异（董晓雨和郭鹏飞，2014）。有研究指出，植物地上部分大约 90%的 Fe 分布在叶绿体中（Gyana & Sunita, 2015）。另有研究指出，玉米中的大部分 Fe 都存在于茎节中，叶片中只含一小部分（云少君等，2012）；苹果树枝干中的 Fe 含量最高（薛进军等，2003）；茶树的根系和茎的 Fe 积累量最大（单睿阳等，2017）。本研究结果也表明蒜头果枝皮中的 Fe 含量最高，其次是叶。Fe 在植物体内的运输同样靠蒸腾拉力，由根吸收并通过茎运输到叶。茎作为运输中间体，可能是其 Fe 含量高于其他部位的原因。也可能是在果实成熟期间，叶中的 Fe 转运到果实中，从而造成其含量的降低。

Fe 在人体必需微量元素中居首位，参与血红蛋白和某些酶类的合成，Fe 的含量还与人体的造血功能密切相关（孙长峰和郭娜，2011），Fe 匮乏会导致缺铁性贫血，枝皮中的 Fe 含量为 21.4 mg·kg^{-1}，远高于其他部位。所以可以选择枝皮进行补 Fe 类产品的开发。Mn 和 Fe 均具有治疗贫血的能力，所以可选用 Mn、Fe 总量较高的种仁和叶开发进行相关产品的开发。

综合上述的分析结果可看出，蒜头果各部分均具开发利用价值，但各部分特点不一，各有所长。种仁中具有高含量的脂肪、氨基酸、P、Mg 等，且营养价值最高，在食品保健等方面具有广阔的发展空间。果皮中的 K 含量最高，且氨基酸的营养价值仅次于种仁。叶中维生素 C 含量高于普通蔬菜且在氨基酸评价中也具有好的表现，说明叶在食品或饲料开发等方面也具有一定的开发利用价值。树皮和枝皮虽然营养价值不及其他部位，但其中的粗纤维、碳水化合物及 Ca 的含量较高，可以将其开发为动物饲料添加剂。此外，果皮、种仁以

及其他部位中高水平的 K/Na 比值，也显示出了其资源具有巨大的开发利用潜力。但是，本文只是各部分同一时期的比较分析，其营养成分的动态变化还需进一步研究，以确定其各部分的而最佳采收时期。总之，对蒜头果整体营养价值的对比分析，不仅明确了各部分的价值特点，还使其在原有生态效益的基础上，增加了经济效益，对蒜头果产业的发展及野生资源的保护具有重要的促进意义。

参考文献：

AN HM, CHEN LG, FAN WG, et al. , 2004. Advances in research on function, biosynthesis and metabolism of ascorbic acid in higher plants[J]. Chin Bull Bot, 21(5) : 608-617. [安华明，陈力耕，樊卫国，等，2004. 高等植物中维生素 C 的功能、合成及代谢研究进展[J]. 植物学通报，21（5）：608-617.]

AN ZF, FANG Z, 2002. Research progress of Manganese nutrition in plants[J]. J Hebei Agr Sci, 6 (4) : 35-41. [安振锋，方正，2002．植物锰营养研究进展[J]．河北农业科学，6（4）：35-41.]

BARR R, TROCEL K S, CRANE F L, 1982. Calmodulin antago-nists inhabit electron transport in photosysten Ⅱ of spinach chloroplasts[J]. Biochem Biophys Rese Comm, 104(4): 1182-1188.

CASHMAN KD, 2002. Calcium intake, calcium bioavailability and bone health[J]. Br J Nutr, 87 (S2):S169-S177.

CHANG HY, HU YW, YUE CS, et al. , 2006. Effect of potassium-enriched salt on cardiovascular mortality and medical expenses of elderly men[J]. Am J Clin Nutr, 83(6) : 1289-1296.

CHEN F, MA SG, WANG HY, et al., 2021. The development status and suggestions of *Malania oleifera* industry in Wenshan prefecture[J]. Mod Agric Sci Technol, (15): 253-258. [陈福，马顺光，王海祥，等，2021．文山州蒜头果产业发展现状及建议[J]．现代农业科技，（15）：253-258．]

CHENG J, 2015. Clinical application and pharmacological effect of L-ornithine-L-aspartate in liver diseases[J]. Chin J Liver Dis (Electron Ed), 7(3): 49-51.［成军，2015．门冬氨酸鸟氨酸的肝病临床应用与研究进展[J]．中国肝脏病杂志（电子版），7（3）：49-51．］

CHEN Q, ESPEY MG, KRISHAN MC, et al. , 2005. Pharmacologic ascorbic acid concentrations selectively kill cancer cells: action as a pro-drug to deliver hydrogen peroxide to tissues[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 102 (38) : 13604-13609.

CONSTANTOPOULOS G, 1970. Lipid metabolism of manga-nese-deficient algae: effect of manganese deficiency on the greening and the lipid composition of *Euglena gracilis* Z[J]. Plant Physiol, 45 (1): 76-80.

DAVEY M W, VAN MONTAGU M, INZE D, et al. , 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing[J]. Sci Food Agric, 80(7): 825-860.

DONG XY, GUO PF, 2014. Distribution of Iron in plants and its effect on human nervous system developing[J]. Mod Agr Sci Technol, (13): 241-242. [董晓雨，郭鹏飞，2014．铁在植物中的分布及其对人类神经系统发育的影响[J]．现代农业科技，(13）：241-242．]

DUAN HX, 2005. Studies of change and correlations on the main matter of Walnut at its harvest stages[D]. Baoding: Hebei Agr Univ. [段红喜，2005．核桃成熟期间主要营养变化及其相关性的研究[D]．保定：河北农业大学．]

FAN SQ, 2018. Oil accumulation of *Prunus sibirica* kernel and response to magnesium fertilizer spraying[D]. Beijing: Chin Acad For. [范思琪，2018． 山杏种仁油脂累积特性及其对喷施镁肥的响应[D]．北京：中国林业科学研究院．]

FENG NH, HOU DH, YANG CY, et al. , 2020. Evaluation of main nutrients and amino acid

components of different varieties of foxtail millet[J]. Sci Technol Food Ind, 41(8): 224-229. [冯耐红，侯东辉，杨成元，等，2020．不同品种小米主要营养成分及氨基酸组分评价[J]．食品工业科技，41（8）：224-229．]

GYANA R R, SUNITA S, 2015. Role of iron in plant growth and metabolism[J]. Rev Agr Sci, 3(0): 1-24.

HOU M, LI JN, LI SF, et al. , 2019. Nutritional composition analysis and evaluation of *Cinnamomum chago*[J]. J West Chin For Sci, 48(6): 80-85. [侯敏，李俊南，李淑芳，等，2019. 茶果樟果实营养成分分析及其营养评价[J]．西部林业科学，48（6）：80-85．]

HUANG KX, LAI JY, SHI HM, et al., 2008. Research status of protection and utilization of *Malania oleifera* in China[J]. J Guangxi Agric Biol Sci, 27(Suppl): 76-80. [黄开响，赖家业，石海明，等，2008．我国特有单种属植物蒜头果的保护与利用研究状况[J]．广西农业生物科学，27（增刊）：76-80．]

HUANG KX, LAI JY, YUAN X, et al. , 2008. Study on extraction and chemical analysis of the essential oil composition from leaves of *Malania oleifera* [J]. J Guangxi Univ (Nat Sci Ed) , 33(S1): 88-91. [黄开响，赖家业，袁霞，等，2008．蒜头果叶挥发油提取工艺及其成分分析研究[J]．广西大学学报(自然科学版)，33(S1)：88-91．]

JERNEJC K, LEGISA M, 2002. The influence of metal ions on malic enzyme activity and lipid synthesis in *Aspergillus niger*[J]. Fems Microbiol Lett, 217(2): 185-190.

JING DW, XING SJ, MA BY, et al. , 2000. Research advances on Calcium nutrition in soil and plant[J]. Biol Disaster Sci, 35(4): 447-451. [井大炜，邢尚军，马丙尧，等，2012．土壤与植物中钙营养研究进展[J]．生物灾害科学，35（4）：447-451．]

KANG JH, SHI YM, ZHENG RL, 2000. Effects of ascorbic acid and DL-alpha-tocopherol on human hepatoma cell proliferation and redifferentiation[J]. Acta pharm Sinica, 21(4): 358-352.

KIENEKER LM, GANSEVOORT RT, MUKAMAL KJ, et al., 2014. Urinary potassium excretion and risk of developing hypertension: the prevention of renal and vascular end-stage disease study[J]. Hypertension, 64(4): 769-776.

LAI JY, YANG ZD, WEN XF, 1999. A study on leaf chlorophyll content from *Malania oleifera* under two kinds of site conditions *in vitro* [J]. Guihaia, 19 (3): 272-276. [赖家业，杨振德，文祥凤，1999．两种立地条件下蒜头果叶绿素含量比较研究[J]．广西植物，19（3）：272-276.]

LI XF, CAO JH, XU XM, 2006. Study comparatively on the quality of fruit oil of *Malania oleifera* on acid soil and neutral soil by GC-MS[J]. J Henan Norm Univ (Nat Sci Ed), 34 (3): 128-131. [李小方，曹建华，徐祥明，2006．GC-MS 技术对比研究两种土壤上蒜头果果油品质[J]．河南师范大学学报(自然科学版)，34（3）：128-131．]

LIANG JJ, JIANG XM, YE L, et al. , 2016. Effects of nitrogen, phosphorus and iron on the growth, total lipids and fatty acid composition of Phaeodactylum tricornutum mutant strain[J]. Chin J Ecol, 35(1): 189-198. [梁晶晶，蒋霞敏，叶丽，等，2016．氮、磷、铁对三角褐指藻诱变株生长、总脂及脂肪酸的影响[J]．生态学杂志，35（1）：189-198．]

LIU WD, 1995. Nutrition of traceminerals and micro-fertilizer application[M]. Beijing: Chin Agr Press, 65-78. [刘武定，1995．微量元素营养与微肥施用[M]．北京：中国农业出版社，65-78.]

LIU Z, 1991. Research progress of manganese in soil and plant[J]. Progr Soil Sci, (6): 1-10. [刘铮，1991．土壤与植物中锰的研究进展[J]．土壤学进展，(6)：1-10．]

LUTGEN V, NARASIPURA S D, SHARMA A et al. , 2016. β-catenin signaling positively regulates glutamate uptake and metabolism in astrocytes. J Neuroinflam, 13(1): 242.

MASONI A, ERCOLI L, MARIOTTI M, et al. , 2006. Post-anthesis accumulation

and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type[J]. Eur J Agron, 26(3): 179-186.
MA YB, WANG HG, GAO HQ, et al. , 2009. Study on the relationship between trace elements of traditional Chinese medicine and its pharmacology[J]. Capital Med, 16 (22): 42-43. [马亚兵，王海刚，高海青，等，2009．中药微量元素与其药理的关系研究[J]．首都医药，16（22）：42-43．]
MORIZANE C, ADACHI K, FURUTANI I, et al. , 1997. N(omega)-nitro-L-arginine methyl ester protects retinal neurons against N-methyl-D-aspartate-induced neurotoxicity *in vivo* [J]. Eur J Pharmacol, 328(1): 45-49.
PE'ER S, KESSLER B, 1984. The development to the 'Delmas' pecan fruit, with special reference to growth phases and changes of lipids and potassium[J]. Sci Hortic, 24 (3-4): 323-329.
SHAN RY, CHEN YZ, WANG F, et al. , 2017. Concentrations and distributions of iron and manganese in parts of tea plant[J]. Fujian J Agric Sci, 32(11): 1207-1212. [单睿阳，陈玉真，王峰，等，2017. 铁锰在茶树植株不同器官中的分布特征[J]. 福建农业学报，32(11)：1207-1212.]
SU JL, LIN X, YANG BX, et al. , 2021. Nutritional components of *Malania oleifera* seed kernel[D]. Chin Oils Fats, 46 (12): 108-111. [苏霁玲，林昕，杨宝钦，等，2021．蒜头果种仁的营养成分分析[J]．中国油脂，46（12）：108-111．]
SUN CF, GUO N, 2011. Trace element iron effects on human health[J]. Stud Trace Elem Health, 28 (2): 64-66. [孙长峰，郭娜，2011．微量元素铁对人体健康的影响[J]．微量元素与健康研究，28（2）：64-66．]
SUN Y, HONG WT, HAN Y, et al. , 2021. Targeting internal phosphorus re-utilization to improve plant phosphorus use efficiency[J]. J Plant Nutr Fert, 7 (12): 2216-2228. [孙艳，洪婉婷，韩阳，等，2021．植物内部磷循环利用提高磷效率的研究进展[J]．植物营养与肥料学报，27（12)：2216-2228．]
TANG TF, 2013. Studies on effective components and bioactivity of *Malania oleifera*[D]. Nanning: Guangxi University. [唐婷范，2013．蒜头果有效成分及其生物活性研究[D]．南宁：广西大学．]
TANG TF, LIU XM, GUO ZJ, et al. , 2013. Analysis of the chemical component of lignin extract from *Malania oleifera*[J]. Fine Chem, 30 (5): 591-594. [唐婷范，刘雄民，郭占京，等，2013.蒜头果木质素提取及成分分析[J]．精细化工，30（5）：591-594．]
TOBIAN L, LANGE J, ULM K, et al. , 1985. Potassium reduces cerebral hemorrhage and death rate in hypertensive rats, even when blood pressure is not lowered[J]. Hypertensi, 7 (3pt): 110-114.
WANG JY, 1999. Trace elements and diseases[J]. Chem world, 40(5): 277-279. [王建英，1999．微量元素与疾病[J]．化学世界，40（5）：277-279．]
WANG LJ, LIAO SQ, LIANG J, et al. , 2021. Analysis and evaluation of nutritional components of *Kadsura coccinea* seeds[J]. Chin Oils Fats, 46(12): 112-117. [王丽军，廖苏奇，梁洁，等，2021．黑老虎种子的营养成分分析及评价[J]．中国油脂，46（12）：112-117．]
WANG R, ZHOU YM, 1999. Research advance of methonine nutrition for animals[J]. Cereal Feed Ind, (4): 29-32. [王冉，周岩民，1999．动物蛋氨酸营养研究进展[J]．粮食与饲料工业，（4）：29-32．]
WHITE PHILIP J, BROADLEY MARTIN R, 2003. Calcium in plants[J]. Ann Bot, 92(4): 487-511.
WU B, GAO YH, LI Y, et al. , 2016. Oil flax phosphorous transformation, distribution and

utilization under nitrogen phosphorous combination on dry land[J]. Chin J Oil Crop Sci, 38(5): 619–625. [吴兵，高玉红，李玥，等，2016．旱地胡麻不同氮磷配施后磷素转运分配和磷肥的利用效率[J]．中国油料作物学报，38（5）：619–625．]
XIANG CG, LI WF, CHEN YB, et al. , 2010. Analysis on the nutritional components in stem, leaf and flower of Pumpkin[J]. Nat Prod Res De, 22(1): 68-71. [向昌国，李文芳，陈阳波，等，2010．南瓜茎、叶、花的营养成分分析[J]．天然产物研究与开发，22（1）：68-71．]
XUE JJ, YANG QQ, WANG XR, et al. , 2003. Distribution of iron and other mineral elements in different organs of apple tree[J]. Genomics Appl Biol, 22 (1): 16-20. [薛进军，杨青琴，王秀茹，等，2003．铁及其它矿质元素在苹果树不同器官中的分布[J]．基因组学与应用生物学，22（1）：16-20．]
YANG M, 2020. Purification, identification and analysis of malanin from *Malania oleifera* [J]. Chin Oils Fats, 45 (4): 24-27+31. [杨敏，2020．蒜头果蛋白的纯化鉴定及分析[J]．中国油脂，45（4）：24-27+31．]
YANG WH, 2017. Effects of different determination factors on determination of crude protein by kjeldahl method[J]. Chin anim hus vet abstr, 33 (9): 66-67. [杨文华，2017．不同测定因素对凯氏定氮法粗蛋白测定的影响[J]．中国畜牧兽医文摘，33（9）：66-67．]
YANG XL, WANG GL, ZHANG ZC, 2006. Manganese and health of human body[J]. Med Recapitulate, 12 (18): 1134-1136. [杨心乐，王桂兰，张忠诚，2006．锰与人体健康[J]．医学综述，12（18）：1134-1136．]
YANG YL, WANG XY, ZHAO DW, et al. , 2022. Screening of the extraction technology of crude fat from shell and peel of *Malania oleifera* by orthogonal test[J]. Anhui Agric Sci, 50(1): 190-193. [杨玉玲，王序英，赵大伟，等，2022．正交试验法优选蒜头果果壳和果皮粗脂肪提取工艺[J]．安徽农业科学，2022，50（1）：190-193．]
YU HR, 2013. Effect of different base fertilizers on the growth of *Malania oleifera* seedlings[J]. Anhui For Sci Technol, 39 (4): 33-35. [余慧嵘，2013．不同基肥对蒜头果幼苗生长的影响[J]．安徽林业科技，39（4）：33-35．]
YUAN H, WANG QH, WANG YY, et al. , 2013. Effect of docosahexaenoic acid and nervonic acid on the damage of learning and memory abilities in rats induced by 1-bromopropane[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 31(11): 806-810. [袁华，王清华，王韵阳，等，2013．二十二碳六烯酸和神经酸对 1-溴丙烷染毒大鼠学习记忆的影响[J]．中华劳动卫生职业病杂志，31(11)：806-810．]
YUAN Y, DAI XC, WANG DB, et al. , 2009. Purification, characterization and cytotoxicity of malanin, a novel plant toxin from the seeds of *Malania oleifera*[J]. Toxicon, 54(2): 121-127.
YUAN Y, ZHANG W, LI B, et al. , 2014. The inhibitory effect of *Malania Oleifera* on the growth of human leukemia K562 cells *in vitro*[J]. Sci Technol Food Ind, 35(20): 379-382.［袁燕，张薇，李彬，等，2014．蒜头果蛋白对人白血病 K562 细胞体外生长的抑制作用[J]．食品工业科技，35（20）：379-382．］
YUN SJ, ZHAO G H, 2012. Progresses in plant iron metabolism and the structure and function of phytoferritin[J]. Chin Bull Life Sci, 24 (8): 809-816. [云少君，赵广华，2012．植物铁代谢及植物铁蛋白结构与功能研究进展[J]．生命科学，24（8）：809-816．]
ZHANG J, YAN H, YANG T, et al. , 2011. Removal of dicofol from water by immobilized cellulase and its reaction kinetics[J]. J Environ Manage, 92 (1): 53-58.
ZHANG L, LIU XM, TANG TF, 2012. Determination of contents of seven metallic elements in seeds of *Malania oleifera*[J]. J Guangxi Univ (Nat Sci Ed), 37 (3): 521-524. [张磊，刘雄民，唐

婷范，2012．蒜头果果仁中 7 种金属元素含量的测定[J]．广西大学学报(自然科学版)，37（3）：521-524．]
ZHANG X, TAN Y, LI YQ, et al. , 2016. Content of fatty acids in *Malania oleifera* fruit oil determined by GC-MS method[J]. J Anhui Agri, 44 (5): 15-17.［张茜，谭瑜，李雁群，等，2016．GC-MS 测定蒜头果油中的脂肪酸含量[J]．安徽农业科学，44（5）：15-17．］
ZHANG ZH, GAO Y, WANG WJ, et al. , 2001. Changes of main nutrients during the fruit ripening of Walnut[J]. Acta Hort-amsterdam Sinica, 28 (6): 509-511. [张志华，高仪，王文江，等，2001．核桃果实成熟期间主要营养成分的变化[J]．园艺学报，28（6）：509-511．]
ZHAO JP, O QZ, 2010. Application research on the seed oil from *Malania oleifera* chun et Lee[J]. China Oils Fats, 35 (7): 12-16. [赵劲平，欧乞鍼，2010．蒜头果仁油的应用研究[J]．中国油脂，35（7）：12-16．]
ZHOU QF, 2017. Studies on preparation of nervonic acid from *Malania Oleifera*[D]. Hangzhou: Zhejiang University.［周琴芬，2017．蒜头果种仁神经酸制备工艺研究[D]．杭州：浙江大学.］
ZHOU W, LIN B, 2000. Study on pathways of Ca^{2+} movement in young fruit tissue of apple and its regulation by hormones[J]. J Plant Nutr Fert, 6 (2): 214-219. [周卫，林葆．苹果幼果组织钙运输途径与激素调控[J]．植物营养与肥料学报，6（2）：214-219．]
ZHU CH, TANG JM, JIANG HL, et al. , 2020. Evaluation of the nutritional value of *Champereia manil-lana* BL. in Yuliang Tiankeng of Guangxi[J]. J Guangxi Acad Sci , 36(1): 109-116.［朱成豪，唐健民，蒋昊龙，等，2020．广西玉良天坑特色植物茎山柚的营养价值评价[J]．广西科学院学报，36（1）：109-116．］
ZHU CW, BAI TC, LIU QD, et al. , 2005. Application of phenol-sulfuric acid method associated with caramelizing-grating photometer method to determine the content of polysaccharide in algae solution[J]. J Suzhou Univ (Nat Sci Ed) , 21 (2): 63-67. [朱成文，白同春，刘德启，等，2005．硫酸苯酚法与焦糖化分光光度法相结合测定藻类水溶液中总糖浓度[J]．苏州大学学报(自然科学版)，21（2）：63-67．]